









# Magnetometer

**Patent number:** EP0945736  
**Publication date:** 1999-09-29  
**Inventor:** EBINGER KLAUS (DE)  
**Applicant:** EBINGER KLAUS (DE)  
**Classification:**  
- **International:** G01R33/04; G01R33/04; (IPC1-7): G01R33/04  
- **European:** G01R33/04  
**Application number:** EP19990101111 19990121  
**Priority number(s):** DE19982005631U 19980327

## Also published as:

 EP0945736 (A3)  
 EP0945736 (B1)  
 DE29805631U (U1)

## Cited documents:

 EP0735376  
 US4634978  
 US5351005  
 US3135199  
 US2806202  
more >>

**Report a data error here**

## Abstract of EP0945736

The magnetometer has two spaced-apart magnetic inductors (2,4) electrically connected in series. The inductor current is supplied from a vibration generator (6). Signals generated in each of the inductors are fed via a smoothing and filter unit (8) to the inputs of a differential amplifier (10). The amplifier outputs a measurement signal. The inductors each have a magnetic coil. The magnetic coils are wound in the same direction. The generator is preferably a rectangular generator. The smoothing and filter unit (9) may have capacitors which galvanically separate the inductors from the inputs of the differential amplifier.

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
29.09.1999 Patentblatt 1999/39

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: G01R 33/04, G01R 33/022,  
G01R 17/20

(21) Anmeldenummer: 99101111.5

(22) Anmeldetag: 21.01.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder: Ebinger, Klaus  
51143 Köln (DE)

(74) Vertreter:  
Helm, Hans-Karl, Dipl.-Ing. et al  
Weber & Helm  
Patentanwälte  
Irmgardstrasse 3  
81479 München (DE)

(30) Priorität: 27.03.1998 DE 29805631 U

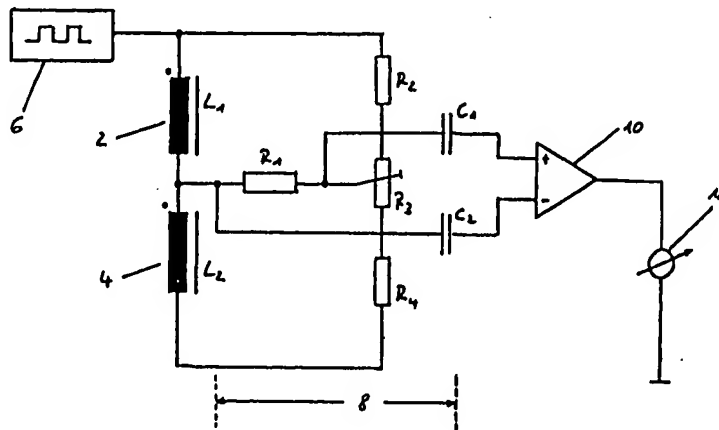
(71) Anmelder: Ebinger, Klaus  
D-51149 Köln (DE)

## (54) Magnetometer

(57) Ein Magnetometer mit zwei in einem Abstand angeordneten, elektrisch in Reihe geschalteten magnetischen Induktoren, denen Strom aus einem Schwingungsgenerator zugeführt wird, wobei in den jeweiligen Induktoren erzeugte Signale über eine Abgleichseinheit den Eingängen eines Differenzverstärkers zugeführt

werden, dessen Ausgangssignal ein Meßsignal ist. Die Induktoren weisen jeweils eine Magnetspule auf, wobei die Magnetspulen in Reihe geschaltet sind und mit äußeren Schaltungsgliedern eine magnetinduktive Meßbrücke bilden.

Fig. 2



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Magnetometer mit zwei in einem Abstand angeordneten, elektrisch in Reihe geschalteten magnetischen Induktoren, denen Strom aus einem Schwingungsgenerator zugeführt wird, wobei in den jeweiligen Induktoren erzeugte Signale über einen Schaukelabgleich den Eingängen eines Differenzverstärkers zugeführt werden, dessen Ausgangssignal ein Meßsignal ist.

[0002] Ein gattungsgemäßes Magnetometer ist beispielsweise aus der DE 42 32 466 A1 bekannt. Es handelt sich hier um ein Saturationsmagnetometer, welches nach dem Prinzip einer Feldstärke-Differenzmessung arbeitet. Die Induktoren dieses Magnetometers sind so geschaltet, daß das ungestörte Erdmagnetfeld weitgehend kompensiert wird. Durch dieses "Ausschalten" des Erdmagnetfeldes ist es möglich, äußerst geringe magnetische Effekte nachzuweisen. Ferromagnetische Teile, die sich z.B. im Erdboden befinden, verursachen eine Störung des Erdmagnetfeldes, welche von dem als Suchanordnung arbeitenden Magnetometer nachgewiesen werden kann.

[0003] Aufgrund der Tatsache, daß die Induktoren einen Abstand zueinander aufweisen, sind beide jeweils unterschiedlichen Magnetfeldern ausgesetzt; somit werden unterschiedliche Signale in den Induktoren erzeugt. Bei dem Magnetometer handelt es sich im Prinzip um eine magnetinduktive Brückenschaltung, die aufgrund einer durch eine magnetische Störung verursachte elektrischen Differenz ein Ausgangssignal erzeugt.

[0004] Bei dem gattungsgemäßen Magnetometer werden die jeweiligen Signale in den Induktoren dadurch erzeugt, daß magnetisch hochpermeable Meßstreifen durch Spulenströme eine magnetische Sättigung erfahren. Durch Hysteresiseffekte der Meßstreifen werden in der Suchanordnung Oberwellen erzeugt, wenn ein äußeres Magnetfeld auf die Induktoren einwirkt. In der Regel verwendet man die Oberwelle mit der doppelten Erregerfrequenz ( $2f$ ), die zu einem der angelegten Störfeldstärke in etwa proportionalen Meßsignal führt. Neben dem in einer Abgleicheinheit stattfindenden elektrischen Brückenabgleich ist ein mechanischer Abgleich wesentliche Voraussetzung für ein zuverlässiges Arbeiten des Magnetometers. Insbesondere findet der mechanische Abgleich durch exakte Parallelisierung der Induktoren statt.

[0005] Gattungsgemäße Magnetometer haben sich in der Praxis bewährt und sind allgemein, z.B. auf dem Gebiet der Kampfmittelräumung bekannt; ebenso bekannt sind der elektrische und der mechanische Abgleich, deren hohe Präzision eine wesentliche Voraussetzung für die gute Funktion des Magnetometers ist.

[0006] Bezüglich der Herstellung des gattungsgemäßen Magnetometers erkennt man jedoch Verbesserungsbedarf. Dadurch, daß jeder der Induktoren mit

einer Primär- und einer Sekundärwicklung ausgestattet ist, wobei die Primärwicklung als Erregerwicklung und die Sekundärwicklung als Empfängerwicklung wirkt, ist eine komplizierte Verschaltung der Induktorenanordnung erforderlich; die Schaltung erfordert, daß insgesamt fünf Verbindungsleitungen zu dem eigentlichen, die Induktoren enthaltenden Magnetsensorbereich notwendig sind. Weiterhin mußten die Sekundärwicklungen gegeneinander geschaltet werden, um im Hinblick auf den Differenzverstärker und bei der verwendeten Schaltung den Signalen die geeigneten Polaritäten zu vermitteln. Auch die interne Verschaltung der Induktoren ist bei dem gattungsgemäßen Magnetometer kompliziert; aufgrund der jeweils vorhandenen Primär- und Sekundärwicklungen weist jeder Induktor mindestens vier Anschlußstifte auf, die richtig miteinander verbunden werden müssen. Die Anzahl der hierfür erforderlichen Manipulationen kann die Fehleranfälligkeit des Magnetometers nachteilig beeinflussen bzw. dessen Präzision mindern. Abgesehen von den Nachteilen, die mit dem aufwendigen Herstellungsverfahren des gattungsgemäßen Magnetometers zusammenhängen, hat sich bei der Anwendung des Magnetometers gezeigt, daß die Meßgenauigkeit durch die individuellen Temperaturcharakteristiken der einzelnen Spulen unter ungünstigen Umständen negativ beeinflußt werden kann.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Magnetometer zur Verfügung zu stellen, welches einen vereinfachten Induktoraufbau aufweist und somit die oben beschriebenen Nachteile hinsichtlich Herstellung und Anwendung beseitigt.

[0008] Diese Aufgabe wird gemäß dem kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 gelöst.

[0009] Bei dem erfindungsgemäßen Magnetometer ist es vorteilhaft, als Schwingungsgenerator einen Rechteckgenerator einzusetzen.

[0010] Die Abgleicheinheit ist bevorzugt so aufgebaut, daß sie Kondensatoren enthält, durch welche die Induktoren von den Eingängen des Differenzverstärkers galvanisch getrennt sind.

[0011] Die Abgleicheinheit enthält vorzugsweise eine Brückenschaltung mit mehreren ohmschen Widerständen, wobei mindestens einer der ohmschen Widerstände einstellbar ist, so daß durch die Einstellung der elektrischen Abgleich erfolgen kann.

[0012] Bei der so realisierten induktiven Brückenschaltung wird die elektrische Differenz der Induktoren mittels des einstellbaren Widerstandes symmetriert. In der Praxis wird dies als "Schaukelabgleich" bezeichnet, wobei dieser sicherstellt, daß die elektrische Wirkung beider Induktoren entgegengesetzt gleich ist.

[0013] Bevorzugt befinden sich die Induktoren in einem rohrförmigen Sondengehäuse.

[0014] Besonders vorteilhaft ist es, wenn beide Induktoren unabhängig voneinander um die Achse des Sondengehäuses drehbar und/oder um eine dazu senkrechte Achse schwenkbar gelagert sind.

[0015] Als Kernmaterial für die Induktoren wird bevor-

zugt magnetisch hochpermeables Material verwendet.

[0016] Durch das Magnetometer der vorliegenden Erfindung kommt es zu überraschenden Vorteilen. Jeder der Induktoren weist nur noch eine Spule auf; diese Spulen sind zudem noch gleichsinnig gewickelt. Durch diese Vereinfachung der Induktoren sind nur noch drei Zuleitungen zur eigentlichen Meßsonde erforderlich; es wurde erwähnt, daß bei dem oben beschriebenen gattungsgemäßen Magnetometer fünf Zuleitungen erforderlich waren. Ebenfalls vereinfacht sich die interne Verschaltung der Induktoren, bedingt durch die geringere Anzahl von miteinander zu verbindenden Anschlüssen. Es hat sich überraschenderweise herausgestellt, daß, entgegen der bisherigen Auffassung, eine Trennung zwischen Erreger- und Empfängerspule bei den Induktoren nicht erforderlich ist.

[0017] Vielmehr kann man bereits den in der "Primärspule" - die erfindungsgemäß bei jedem Induktor die einzige Spule ist - erzeugten Oberwellenanteil ebenso gut für die Differenzmessung verwenden. Eine galvanische Trennung zwischen den besendeten Induktoren und dem Differenzverstärker wird in einfacher Weise durch Koppelkondensatoren besorgt. Durch den einfacheren Aufbau der Induktoren werden die Herstellungskosten des erfindungsgemäßen Magnetometers im Vergleich zum Stand der Technik erheblich vermindert, einerseits aufgrund der einfacheren Herstellung, andererseits aufgrund des einfacheren Aufbaus der Induktoren.

[0018] Durch die Tatsache, daß nur eine Spule pro Induktor erforderlich ist, kommt es auch bei der Anwendung des Magnetometers zu deutlichen Verbesserungen. Einmal ist festzustellen, daß der vereinfachte Aufbau grundsätzlich mindestens dieselbe Meßgenauigkeit und dieselbe Empfindlichkeit zur Verfügung stellt wie die gattungsgemäße Meßsonde, weiterhin ist aber die Stabilität des Magnetometers noch verbessert worden, da aufgrund der geringeren Anzahl von Induktivitäten weniger Unsicherheiten aufgrund der verschiedenen Temperaturcharakteristiken der Induktivitäten vorliegen.

[0019] Die Erfindung wird nachfolgend anhand des Standes der Technik sowie eines Ausführungsbeispiels der Erfindung mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen näher erläutert; hierbei zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Schaltbild zur Veranschaulichung eines Magnetometers des Standes der Technik; und

Fig. 2 ein schematisches Schaltbild zur Veranschaulichung einer Magnetometerausführung gemäß der Erfindung.

[0020] Mit nachgestelltem Strich versehene Bezugsziffern bezeichnen Bauteile des Standes der Technik.

[0021] In Fig. 1 ist eine elektrische Schaltung dargestellt, die in einem Magnetometer des Standes der

Technik Anwendung findet. Ein Schwingungsgenerator 6' versorgt zwei gleichsinnig gewickelte Primärspulen  $L_1'$ ,  $L_2'$  mit einem alternierenden Strom, hier mit einer Abfolge von Rechteckimpulsen. Diese Spulen  $L_1'$ ,  $L_2'$  dienen als Erregerspulen, wobei das in ihnen erzeugte Magnetfeld auf die als Empfängerspulen dienenden Sekundärspulen  $L_3'$ ,  $L_4'$  übertragen wird. Die Sekundärspulen  $L_3'$ ,  $L_4'$  sind gegensinnig gewickelt und somit in Differenz geschaltet; die sich durch die Wicklungsrichtungen ergebenden relativen Polaritäten der Spulen sind in der Zeichnung durch Punkte angedeutet. Die Übertragung der elektromagnetischen Signale wird vorzugsweise durch hochpermeable Magnetkerne vermittelt. Im vorliegenden Beispiel können die Spulenpaare  $L_1'$ ,  $L_3'$ ;  $L_2'$ ,  $L_4'$  in einem rohrförmigen Sondengehäuse angeordnet sein, wobei während der Anwendung des Magnetometers das Spulenpaar  $L_1'$ ,  $L_3'$  oben - d. h. vom Erdboden entfernt - und das Spulenpaar  $L_2'$ ,  $L_4'$  unten - d. h. in Bodennähe - angeordnet ist.

[0022] Die Sekundärspulen  $L_3'$ ,  $L_4'$  sind über eine Brückenschaltung mit den Eingängen eines Differenzverstärkers 10' verbunden. Die Brückenschaltung weist ohmsche Widerstände auf, wobei durch das Einstellen mindestens eines der Widerstände  $R_3'$  der elektrische Abgleich der Magnetometeranordnung erfolgt. Damit das Ausgangssignal 12' des Differenzverstärkers 10' ein zuverlässiges Maß für die Störung des Erdmagnetfeldes darstellt, ist ferner ein mechanischer Abgleich der von den Spulenpaaren  $L_1'$ ,  $L_3'$  und  $L_2'$ ,  $L_4'$  gebildeten Induktoren durch Parallelisieren erforderlich; dies erfolgt durch eine hier nicht näher gezeigte Lagerung der Induktoren innerhalb des Sondengehäuses, bei der beide Induktoren unabhängig voneinander um die Achse des Sondengehäuses drehbar und/oder um eine dazu senkrechte Achse schwenkbar gelagert sind.

[0023] Die erforderliche galvanische Trennung zwischen Ausgangsseite (Differenzverstärker 10') und Eingangsseite (Rechteckgenerator 6'; Primärspulen  $L_1'$ ,  $L_2'$ ) erfolgt durch die jeweilige Trennung zwischen der Primärseite und der Sekundärseite von oberem und unterem Induktor. Bei der beschriebenen Magnetometerschaltung des Standes der Technik ist es erforderlich, fünf Anschlußleitungen von der eigentlichen Sonde, d. h. von den Induktoren, zur Meßelektronik zu führen. Ferner müssen bei der beschriebenen Verschaltung die Sekundärspulen  $L_3'$ ,  $L_4'$  gegeneinander geschaltet sein, so daß ein Differenzverfahren möglich ist. Ebenso ist erkennbar, daß die interne Verschaltung der eigentlichen Magnetometersonde vergleichsweise aufwendig ist, da wenigstens vier Anschlüsse in der richtigen Weise miteinander verbunden werden müssen.

[0024] In Fig. 2 ist eine Schaltung dargestellt, die in einem Magnetometer gemäß der Erfindung verwendet wird. Ein Schwingungsgenerator 6 versorgt zwei in Serie geschaltete Spulen  $L_1$ ,  $L_2$  mit einer rechteckförmigen Spannung. Die Induktoren 2, 4 enthalten neben den Spulen, welche gleichsinnig gewickelt sind, einen Magnetkern aus hochpermeablem Material; wiederum

sind die sich durch die Wicklungsrichtungen ergebenden relativen Polaritäten der Spulen in der Zeichnung durch Punkte angedeutet. Die beiden Induktoren  $L_1$  und  $L_2$  bilden in Verbindung mit den ohmschen Widerständen  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ , eine Brückenschaltung mit der die Anordnung elektrisch symmetriert wird. In der Brückendiagonalen befinden sich der Widerstand  $R_1$  sowie zwei Koppelkondensatoren  $C_1$  und  $C_2$ , die den Meßeingang eines Differenzverstärkers 10 von der Magnetometerschaltung galvanisch trennen.

[0025] Der Kondensator  $C_1$  ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel direkt am positiven Eingang des Differenzverstärkers 10 angeschlossen, während der Kondensator  $C_2$  mit dem negativen Eingang des Differenzverstärkers 10 verbunden ist. Der Widerstand  $R_1$  ist mit einem Pol zwischen den in Serie geschalteten Induktoren 2, 4 angeschlossen und liegt damit ferner an dem Kondensator  $C_2$ , dessen anderer Pol, wie oben erwähnt, mit dem negativen Eingang des Differenzverstärkers 10 verbunden ist. Der andere Pol des Widerstandes  $R_1$  ist an dem Mittelabgriff des einstellbaren Widerstandes  $R_3$  sowie an dem Kondensator  $C_1$  angeschlossen, der die wechselstrommäßige Ankopplung an den positiven Eingang des Differenzverstärkers 10 bereitstellt. Die beiden verbleibenden Anschlüsse des einstellbaren Widerstandes  $R_3$  sind über die Widerstände  $R_2$  bzw.  $R_4$  mit den verbleibenden Anschlüssen der Induktoren 2, 4 verbunden.

[0026] Nach elektrischem Abgleich der Brückenschaltung durch Justierung des Widerstandes  $R_3$  (Schaukelabgleich) sowie nach mechanischem Abgleich durch Parallelisierung der Induktoren 2, 4 kann das Ausgangssignal 12 des Differenzverstärkers 10 als Anzeige für ein gestörtes Magnetfeld verwendet werden. Die Induktoren 2, 4 können in einem hier nicht dargestellten rohrförmigen Sondengehäuse im wesentlichen coaxial angeordnet und im Hinblick auf die Parallelisierung unabhängig voneinander um die Achse des Sondengehäuses drehbar und/oder um eine dazu senkrechte Achse schwenkbar gelagert sein.

[0027] Wie anhand der Fig. 2 ersichtlich ist, sind lediglich drei Anschlüsse an der eigentlichen Magnetometersonde erforderlich, d.h. es müssen nur drei elektrische Leitungen von der Magnetometersonde weggeführt werden. Ferner ist die interne Verschaltung der Induktoren besonders einfach, da zum einen die Spulen nicht in Differenz geschaltet werden müssen, wie es beim Stand der Technik erforderlich war, und ferner lediglich die Anschlüsse von zwei Spulen, im Gegensatz zu vier Spulen beim Stand der Technik, richtig verschaltet werden müssen. Der apparative Aufwand ist aufgrund der vereinfachten Spulenordnung verringert worden.

[0028] Durch die im Vergleich zum Stand der Technik geringere Anzahl von Spulen ist die Temperaturabhängigkeit der Bauteile insgesamt verringert, was mit anderen Worten zu einer Erhöhung der Temperatur- und Langzeitstabilität führt. Dies ermöglicht zuverlässigere Meßergebnisse.

[0029] Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein.

#### Patentansprüche

1. Magnetometer mit zwei in einem Abstand angeordneten, elektrisch in Reihe geschalteten magnetischen Induktoren (2, 4), denen Strom aus einem Schwingungsgenerator (6) zugeführt wird, wobei in den jeweiligen Induktoren (2, 4) erzeugte Signale über eine Abgleicheinheit (8) den Eingängen eines Differenzverstärkers (10) zugeführt werden, dessen Ausgangssignal (12) ein Meßsignal ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktoren (2, 4) jeweils eine Magnetspule aufweisen, wobei die Magnetspulen in Reihe geschaltet sind und mit äußeren Schaltungsgliedern ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ) eine magnetinduktive Meßbrücke bilden.
2. Magnetometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgleicheinheit (8) Kondensatoren ( $C_1$ ,  $C_2$ ) aufweist, welche die Induktoren (2, 4) von den Eingängen des Differenzverstärkers (10) galvanisch trennen.
3. Magnetometer nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgleicheinheit (8) eine Brückenschaltung mit mehreren ohmschen Widerständen ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ) aufweist, wobei mindestens ein einstellbarer Widerstand ( $R_3$ ) vorgesehen ist, so daß durch die Einstellung ein Abgleich erzielbar ist.
4. Magnetometer nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktoren (2, 4) in einem rohrförmigen Sondengehäuse, im wesentlichen coaxial zueinander, angeordnet sind.
5. Magnetometer nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß beide Induktoren (2, 4) unabhängig voneinander um die Achse des Sondengehäuses drehbar und/oder um eine dazu senkrechte Achse schwenkbar gelagert sind.
6. Magnetometer nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktoren (2, 4) einen Magnetkern aus magnetisch hochpermeablem Material aufweisen.

FIG. 1

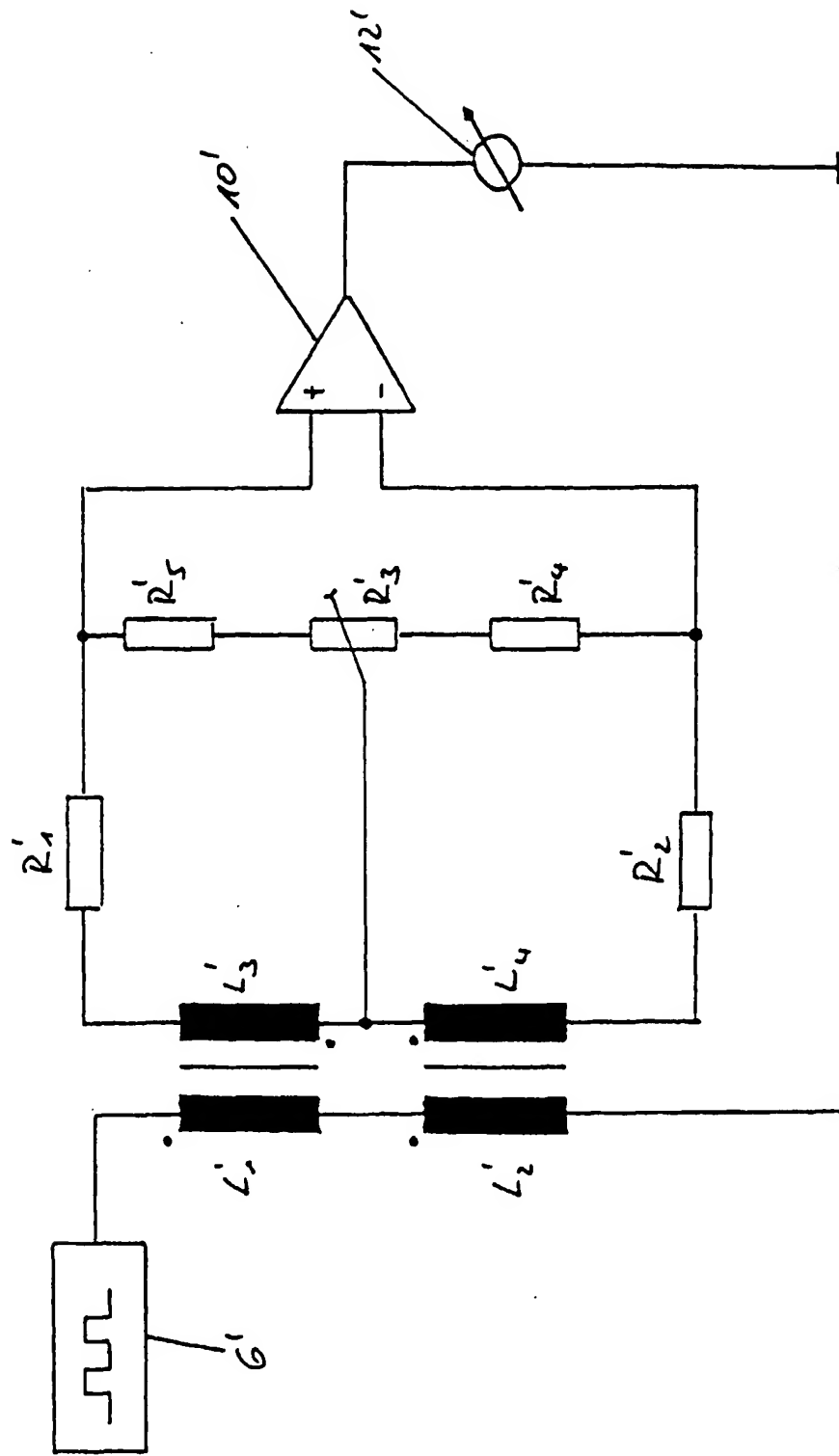


FIG. 2

